

## Beschreibung

## Elektrische Spule

- 5 Die Erfindung betrifft eine elektrische Spule, insbesondere eine Gradientenspule für ein Magnetresonanzgerät.

Die technischen Einsatzgebiete von elektrischen Spulen sind vielfältig. Dabei weist in vielen Ausführungen eine elektrische Spule unter anderem zum Erzielen einer hohen Isolations-  
10 festigkeit und einer hohen strukturellen Festigkeit einen Verguss, beispielsweise aus einem Kunstharz, auf. Darüber hinaus ist es bekannt, eine elektrische Spule unter anderem zum Erhöhen ihrer Leistungsfähigkeit während einem Betrieb  
15 der Spule zu kühlen. Dazu transportiert beispielsweise eine Kühlvorrichtung Wärme, die infolge eines Stromflusses in einem Leiter der Spule entsteht, aus der Spule hinaus.

Eine hochbelastete elektrische Spule ist beispielsweise eine  
20 Gradientenspule eines Magnetresonanzgerätes. Dabei umfasst das Magnetresonanzgerät unter anderem ein Gradientenspulensystem zum Erzeugen schnell geschalteter Gradientenfelder sowie ein Grundfeldmagnetsystem zum Erzeugen eines statischen Grundmagnetfeldes. Das Gradientenspulensystem beinhaltet da-  
25 bei oftmals Mittel zum Vermindern von Inhomogenitäten des statischen Grundmagnetfeldes, sogenannte Shim-Vorrichtungen. Bei einer passiven Shim-Vorrichtung wird beispielsweise im Gradientenspulensystem eine Anzahl von Eisenblechen in einer geeigneten Anordnung eingebracht. Dazu wird das Grundmagnet-  
30 feld vor dem Einbringen der Eisenbleche vermessen und aus den gemessenen Werten ermittelt ein Rechenprogramm die geeignete Anzahl und Anordnung der Eisenbleche.

Während des Betriebs der Gradientenspule betragen die Ampli-  
35 tuden der erforderlichen Ströme im Leiter der Spule mehrere 100 A. Die Stromanstiegs- und -abfallraten betragen mehrere 100 kA/s. Die treibende Spannung für den Spulenstrom beträgt

bis zu mehreren kV. Zur Beherrschung vorgenannter hoher elektrischer Leistungen wird die Gradientenspule oftmals gekühlt. Dazu ist beispielsweise aus der DE 197 21 985 A1 und/oder der DE 197 22 211 A1 eine Kühleinrichtung zur indirekten Kühlung von Leitern der Gradientenspule bekannt. Dabei ist in einer zylindermantelförmigen Ebene eines hohlzylinderförmigen gießharzvergossenen Gradientenspulensystems eine dicht an dicht verlegte flexible Kühlleitung eingebracht, durch die zum Kühlen der Gradientenspule ein Kühlmedium geleitet wird.

Eine andere Ausführungsform zum Kühlen einer Gradientenspule ist beispielsweise in der DE 198 39 987 A1 beschrieben. Dabei wird ein Leiter der Gradientenspule direkt gekühlt, indem durch einen inneren Kühlkanal, der vom Leiter in einer Ausbildung als Profilsegmentleiter umgeben ist, ein Kühlmedium geleitet wird.

Aus der US 5,786,695 ist beispielsweise bekannt, dass für eine gleichbleibende Genauigkeit einer Shim-Wirkung eine gleichbleibende Temperatur einer passiven Shim-Vorrichtung wichtig ist. Die Wärmeentwicklung im Leiter der Gradientenspule führt zu einer Temperaturveränderung der passiven Shim-Vorrichtung, so dass die Homogenität des Grundmagnetfeldes und damit die Qualität von Magnetresonanzbildern beeinträchtigt wird. Um vorgenannte Temperaturschwankungen der passiven Shim-Vorrichtung zu verhindern, ist in vorgenannter Patentschrift vorgeschlagen, die Shim-Vorrichtung derart im Gradientenspulensystem anzuordnen, dass sie mittels einer Kühlungsdurchführung zum Erzielen einer hohen Temperaturstabilität kühlbar sind.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine verbesserte kühlbare elektrische Spule zu schaffen.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass eine elektrische Spule, insbesondere eine Gradientenspule für ein Magnetresonanzgerät, folgende Merkmale beinhaltet:

- Wenigstens einen elektrischen Leiter,
- 5 - eine Trägerstruktur,
- wenigstens eine Komponente einer Kühlvorrichtung und
- einen Wärmedämmstoff, der für wenigstens einen Abschnitt des Leiters zwischen dem Leiter und der Trägerstruktur angeordnet ist.

10

Dadurch ist der Leiter der Spule mit hohen Temperaturen betreibbar, ohne dass gleichzeitig die Trägerstruktur, beispielsweise ein Harzverguss, gefährlich hohe Temperaturen annimmt, was in vorteilhafter Weise zu einer verringerten  
15 Wärmedehnung der Trägerstruktur führt und insbesondere bei einem Magnetresonanzgerät eine Zeitstabilität von Gradientenfeldern und eines Grundmagnetfeldes erhöht. Da der Leiter gegenüber der Trägerstruktur hohe Temperaturen annehmen kann, ist ein Kühlmediumstrom der Kühlvorrichtung mit einem hohen  
20 Temperaturgefälle betreibbar, was hohe Leistungsdichten innerhalb der Spule ermöglicht.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung ist wenigstens ein Abschnitt des Leiters hohlzylinderförmig zum Durchleiten eines  
25 Kühlmediums ausgebildet. Eine Ausführungsform vorgenannter Leiterinnenkühlung ist beispielsweise in der eingangs zitierten DE 198 39 987 A1 beschrieben. Insbesondere eine Ausführung des Leiters als hohlkreiszyylinderförmigen Leiter bewirkt ferner gute Hochfrequenzeigenschaften, beispielsweise hinsichtlich des Skin-Effektes.  
30

In einer vorteilhaften Ausgestaltung ist die Komponente der Kühlvorrichtung zum Kühlen wenigstens eines Abschnittes des Leiters ausgebildet. Aufgrund der guten Wärmeleiteigenschaften des Leiters, beispielsweise in einer Ausführung des Leiters aus Kupfer oder Aluminium, ist eine Ausbildung der Komponente der Kühlvorrichtung lediglich für einen Abschnitt des  
35

Leiters ausreichend, um für einen größeren Abschnitt des Leiters eine gute Kühlwirkung zu erzielen. Dabei weisen bei vorgenannter abschnittsweise ausgebildeten Kühlung Abschnitte des Leiters, die nicht mit der Komponente der Kühlvorrichtung versehen sind, besagte Wärmedämmung auf. Dadurch wirken sich in vom Ort der Kühlung vergleichsweise weit entfernten, wärmege-  
dämmten Leiterabschnitten auftretende Temperaturen und Temperaturschwankungen, die größere sind als die am Kühlungsort, nicht nachteilig auf die umgebende Trägerstruktur aus.  
Durch vorgenannte, lediglich abschnittsweise ausgebildete Kühlung ist eine entsprechend einfache Kühlvorrichtung ausbildbar.

Dazu verläuft in einer vorteilhaften Ausgestaltung der zu kühlende Abschnitt des Leiters in einem Randbereich einer räumlichen Ausdehnung der Spule, beispielsweise bei einer räumlichen Ausdehnung entsprechend einem Hohlzylinder in einem Bereich wenigstens einer Stirnseite des Hohlzylinders. Durch eine entsprechend einfache Zugänglichkeit und kurze Wege ist die Kühlvorrichtung dabei besonders einfach und kostengünstig ausführbar. Ferner steht in einem zentralen Bereich Platz für andere Komponenten zur Verfügung.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung umschließt der Wärmedämmstoff den Leiter. Dadurch wird eine allseitige Wärmedämmung des Leiters erzielt.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung weist der Wärmedämmstoff eine geringere Wärmeleitfähigkeit als die Trägerstruktur auf, beispielsweise ist die Wärmeleitfähigkeit des Wärmedämmstoffes um einen Faktor größer oder gleich drei geringer als die Wärmeleitfähigkeit der Trägerstruktur. Eine im wesentlichen aus einem Harzverguss ausgebildete Trägerstruktur weist beispielsweise eine Wärmeleitfähigkeit von größer etwa 0,15 W/(K·m) auf. Dahingegen weisen faser- und/oder hartschaumartige Wärmedämmstoffe, beinhaltend Glas, Keramik, Mineral-

und/oder Polymerstoffe, Wärmeleitfähigkeiten von etwa 0,05 W/(K·m) und kleiner auf.

5 In einer vorteilhaften Ausgestaltung umfasst die Trägerstruktur Mittel zum Vermindern von Inhomogenitäten eines Magnetfeldes, beispielsweise eingangs beschriebene passive Shim-Vorrichtungen. Dabei gilt für vorgenannte Mittel vorausgehend zur Trägerstruktur Beschriebenes entsprechend. Eine aufwendige separate Kühlung besagter Mittel zur Erzielung einer hohen  
10 Temperaturstabilität besagter Mittel ist nicht erforderlich.

Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus nachfolgend erläuterten Ausführungsbeispielen der Erfindung anhand der Zeichnungen. Dabei zeigen:  
15

Figur 1 eine Skizze eines Magnetresonanzgerätes mit einem Gradientenspulensystem,

Figur 2 einen ausschnittsweisen Längsschnitt durch eine erste Ausführungsform des Gradientenspulensystems und  
20

Figur 3 eine Seitenansicht einer zweiten Ausführungsform des Gradientenspulensystems.

5 Figur 1 zeigt eine Skizze eines Magnetresonanzgerätes mit einem hohlzylinderförmigen Gradientenspulensystem 1, beinhaltend wenigstens eine Gradientenspule. Dabei ist das Gradientenspulensystem 1 zum Erzeugen von schnell schaltbaren magnetischen Gradientenfeldern ausgebildet. Ferner umfasst das  
30 Magnetresonanzgerät ein Grundfeldmagnetsystem 2 zum Erzeugen eines möglichst homogenen statischen Grundmagnetfeldes sowie eine Lagerungsvorrichtung 3, auf der beispielsweise ein Patient 4 gelagert ist.

35 Figur 2 zeigt als ein Ausführungsbeispiel der Erfindung einen ausschnittsweisen Längsschnitt durch eine erste Ausführungsform eines hohlzylinderförmiges Gradientenspulensystems 1a.

Dabei sind aus Gründen der Übersichtlichkeit exemplarisch ein Querschnitt eines elektrischen Leiters 12 einer Gradientenspule sowie Mittel 14 zum Vermindern von Inhomogenitäten des statischen Grundmagnetfeldes vergrößert dargestellt. Der elektrische Leiter 12, beispielsweise aus Kupfer oder Aluminium, ist hohlzylinderförmig ausgebildet. Innerhalb des hohlzylinderförmigen Leiters 12 verläuft als eine Komponente einer Kühlvorrichtung ein Kühlrohr 11a, durch das zum Zwecke einer Kühlung des Leiters 12 ein Kühlmedium, beispielsweise Wasser, durchleitbar ist. Dabei ist das Kühlrohr 11a aus einem elektrisch nicht oder nur gering leitfähigem Werkstoff ausgebildet, insbesondere aus einem flexiblen Kunststoff.

Zwischen dem elektrischen Leiter 12 und einer Trägerstruktur 15a des Gradientenspulensystems 1a, beispielsweise ein Gießharzverguss, ist ein den Leiter 12 umschließender Wärmedämmstoff 13a angeordnet. Dabei ist der Wärmedämmstoff faser- und/oder hartschaumartig ausgebildet und umfasst Glas, Keramik, Mineral- und/oder Polymerstoffe, so dass eine Wärmeleitfähigkeit des Wärmedämmstoffes 13a beispielsweise um einen Faktor drei geringer als die Wärmeleitfähigkeit der Trägerstruktur 15a ist. Dadurch kann der Leiter 12 gegenüber der Trägerstruktur 15a vergleichsweise hohe Temperaturen annehmen und ein Kühlmediumstrom ist zur Erzielung hoher Leistungen mit einem großen Temperaturgefälle betreibbar. Eine strukturschädigende abwechselnde Erwärmung und Abkühlung der den elektrischen Leiter 12 umgebenden Trägerstruktur 15a wird dadurch verhindert. Ferner wird für die Mittel 14 zum Vermindern von Inhomogenitäten des Grundmagnetfeldes, beispielsweise eine passive Shim-Vorrichtung in einer Ausführung als Eisenbleche, eine hohe Temperaturstabilität und damit eine hohe Qualität von Magnetresonanzbildern erzielt. In einer Ausführungsform sind der elektrische Leiter 12 sowie das Kühlrohr 11a beispielsweise entsprechend der eingangs genannten DE 198 39 987 ausgebildet.

Figur 3 zeigt als ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung eine Seitenansicht einer zweiten Ausführungsform eines hohlzylinderförmigen Gradientenspulensystems 1b. Dabei ist aus Gründen der Übersichtlichkeit exemplarisch für eine zylindermantelförmige Ebene des Gradientenspulensystems lediglich ein hufeisenförmiger Leiterabschnitt 21 einer primären Gradientenspule dargestellt. Dieser Leiterabschnitt 21 ist vollständig von einem Wärmedämmstoff 13b umschlossen. An einer Stirnseite des hohlzylinderförmigen Gradientenspulensystems 1b ist der hufeisenförmige Leiterabschnitt 21 durch Verbindungsleiter 22 mit einem weiteren, nicht dargestellten, beispielsweise ebenfalls hufeisenförmig ausgebildeten Leiterabschnitt einer zugehörigen Sekundärspule verbunden. Dabei sind Leiter der Sekundärspule ebenfalls in einer zylindermantelförmigen Ebene angeordnet, die die zylindermantelförmige Ebene der primären Gradientenspule konzentrisch umgibt. Die stirnseitigen Verbindungsleiter 22 der Gradientenspule sind kühlbar ausgebildet, indem sie von Kühlungsdurchführungen 11b als Komponenten einer Kühlvorrichtung in dichter Packung umgeben sind. Durch die Kühlungsdurchführungen 11b ist ein Kühlmittel leitbar.

Vorgenannte Anordnung hat insbesondere den Vorteil, dass Komponenten 11b der Kühlvorrichtung lediglich an einer leicht zugänglichen Stirnseite 23 angeordnet sind und die Kühlvorrichtung dementsprechend einfach und kostengünstig ausbildbar ist. Dabei wird die inhärent vorhandene hohe Wärmeleitfähigkeit des hufeisenförmigen Leiterabschnittes 21 ausgenutzt, womit bei einer intensiven Kühlung der Verbindungsleiter 22 gleichzeitig eine effektive Kühlung des hufeisenförmigen Leiterabschnittes 21 erzielbar ist. Der Wärmedämmstoff 13b ist dabei entsprechend Figur 2 ausgeführt. Der Wärmedämmstoff bewirkt, dass insbesondere in einem vom Verbindungsleiter 22 vergleichsweise weit entfernten Abschnitt des Leiterabschnittes 21 auftretende Temperaturen und Temperaturschwankungen, die größere sind als die in den Verbindungsleitern 22, nicht

in nachteiliger Weise auf die umgebende Trägerstruktur 15b wirken.



## Patentansprüche

1. Elektrische Spule, insbesondere eine Gradientenspule für ein Magnetresonanzgerät, beinhaltend folgende Merkmale:

- 5 - Wenigstens einen elektrischen Leiter (12, 21, 22),
- eine Trägerstruktur (15a, 15b),
- wenigstens eine Komponente (11a, 11b) einer Kühlvorrichtung und
- 10 - einen Wärmedämmstoff (13a, 13b), der für wenigstens einen Abschnitt des Leiters (12, 21) zwischen dem Leiter (12, 21) und der Trägerstruktur (15a, 15b) angeordnet ist.

2. Elektrische Spule nach Anspruch 1, wobei wenigstens ein Abschnitt des Leiters (12) hohlzylinderförmig zum Durchleiten  
15 eines Kühlmediums ausgebildet ist.

3. Elektrische Spule nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei die Komponente (11a, 11b) der Kühlvorrichtung zum Kühlen wenigstens eines Abschnittes des Leiters (12, 22) aus-  
20 bildet ist.

4. Elektrische Spule nach Anspruch 3, wobei der Abschnitt des Leiters (12, 22) in einem Randbereich einer räumlichen Ausdehnung der Spule verläuft.

25 5. Elektrische Spule nach einem der Ansprüche 3 oder 4, wobei bei einer räumlichen Ausdehnung der Spule entsprechend einem Hohlzylinder der Abschnitt des Leiters (22) in einem Bereich wenigstens einer Stirnseite (23) des Hohlzylinders  
30 verläuft.

6. Elektrische Spule nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei der Wärmedämmstoff (13a, 13b) den Leiter (12, 21) um-  
schließt.

7. Elektrische Spule nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei der Wärmedämmstoff (13a, 13b) eine geringere Wärmeleitfähigkeit als die Trägerstruktur (15a, 15b) aufweist.

- 5 8. Elektrische Spule nach Anspruch 7, wobei die Wärmeleitfähigkeit des Wärmedämmstoffes (13a, 13b) um einen Faktor größer oder gleich drei geringer als die Wärmeleitfähigkeit der Trägerstruktur (15a, 15b) ist.
- 10 9. Elektrische Spule nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei die Trägerstruktur (15a, 15b) einen Harzverguss umfasst.
10. Elektrische Spule nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei die Trägerstruktur (15a, 15b) Mittel (14) zum Vermindern von Inhomogenitäten eines Magnetfeldes umfasst.
- 15 11. Elektrische Spule nach einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei der Wärmedämmstoff (15a, 15b) faser- und/oder hart-schaumartig ausgebildet ist und Glas, Keramik, Mineral- und/oder Polymerstoffe umfasst.
- 20

Zusammenfassung

Elektrische Spule

- 5 Eine elektrische Spule, insbesondere eine Gradientenspule für ein Magnetresonanzgerät, beinhaltet wenigstens einen elektrischen Leiter (12, 21, 22), eine Trägerstruktur (15a, 15b), wenigstens eine Komponente (11a, 11b) einer Kühlvorrichtung und einen Wärmedämmstoff (13a, 13b), der für wenigstens einen
- 10 Abschnitt des Leiters (12, 21) zwischen dem Leiter (12, 21) und der Trägerstruktur (15a, 15b) angeordnet ist.

Figur 2

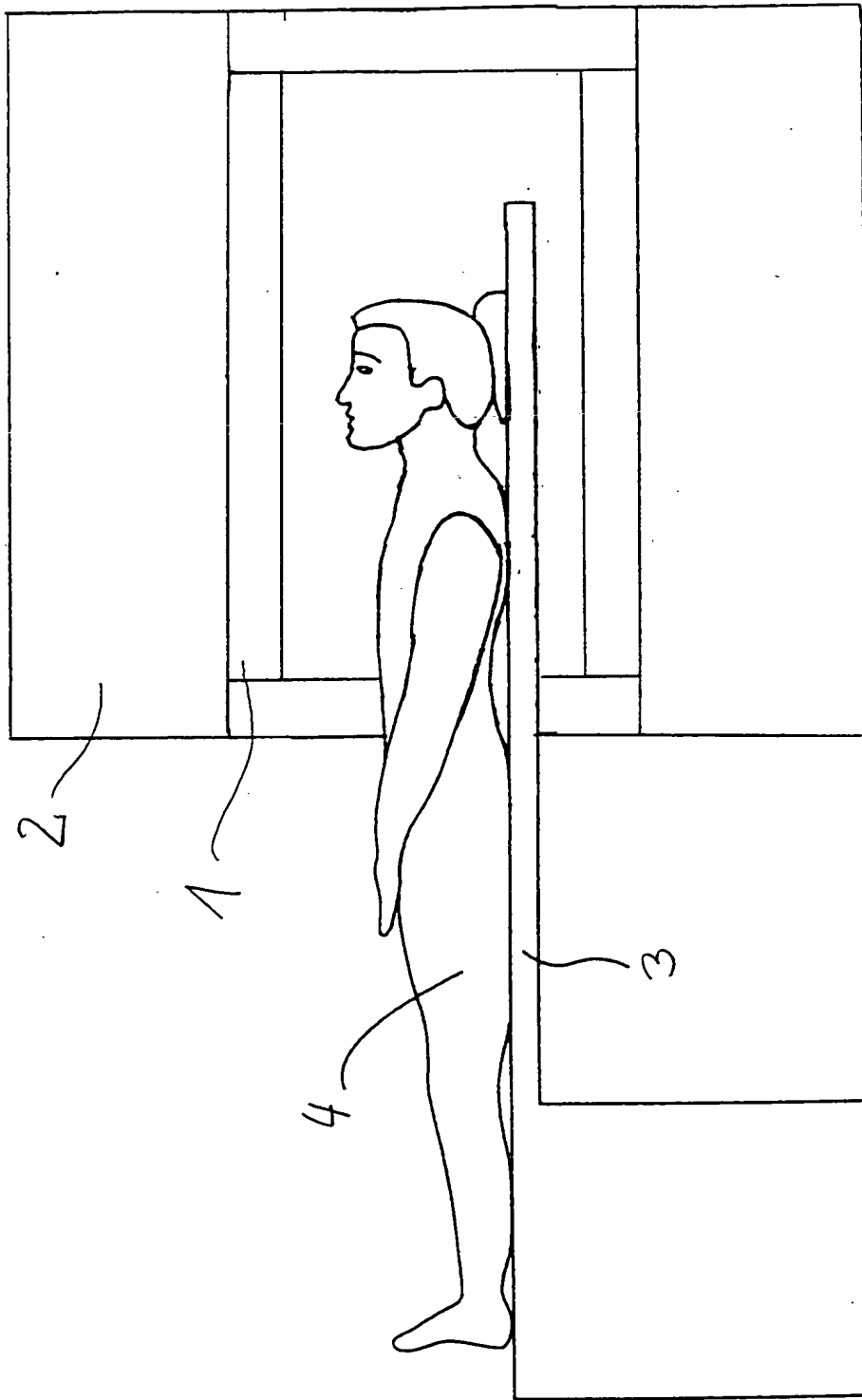


FIG 1

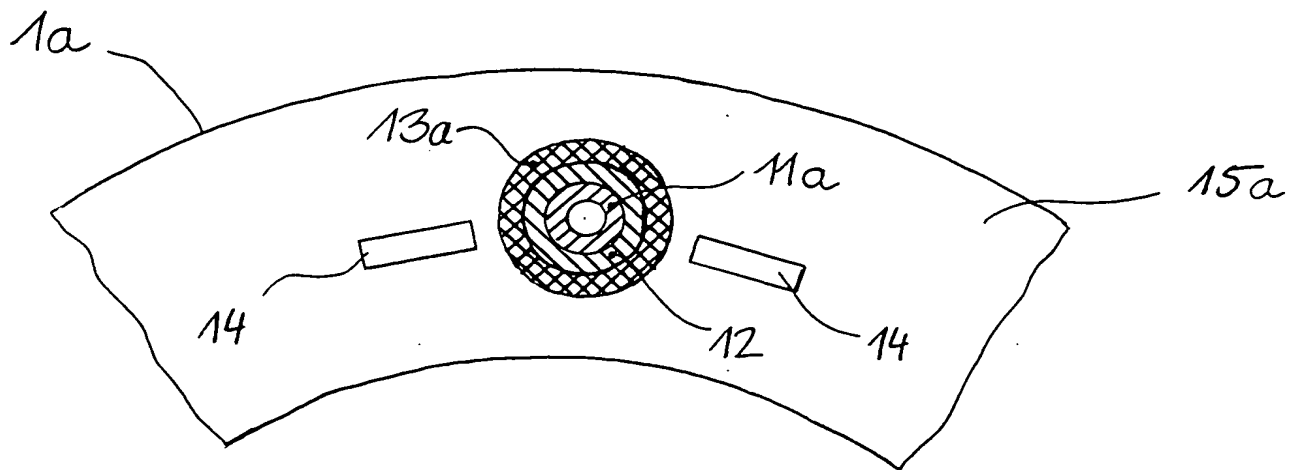


FIG 2

3/3

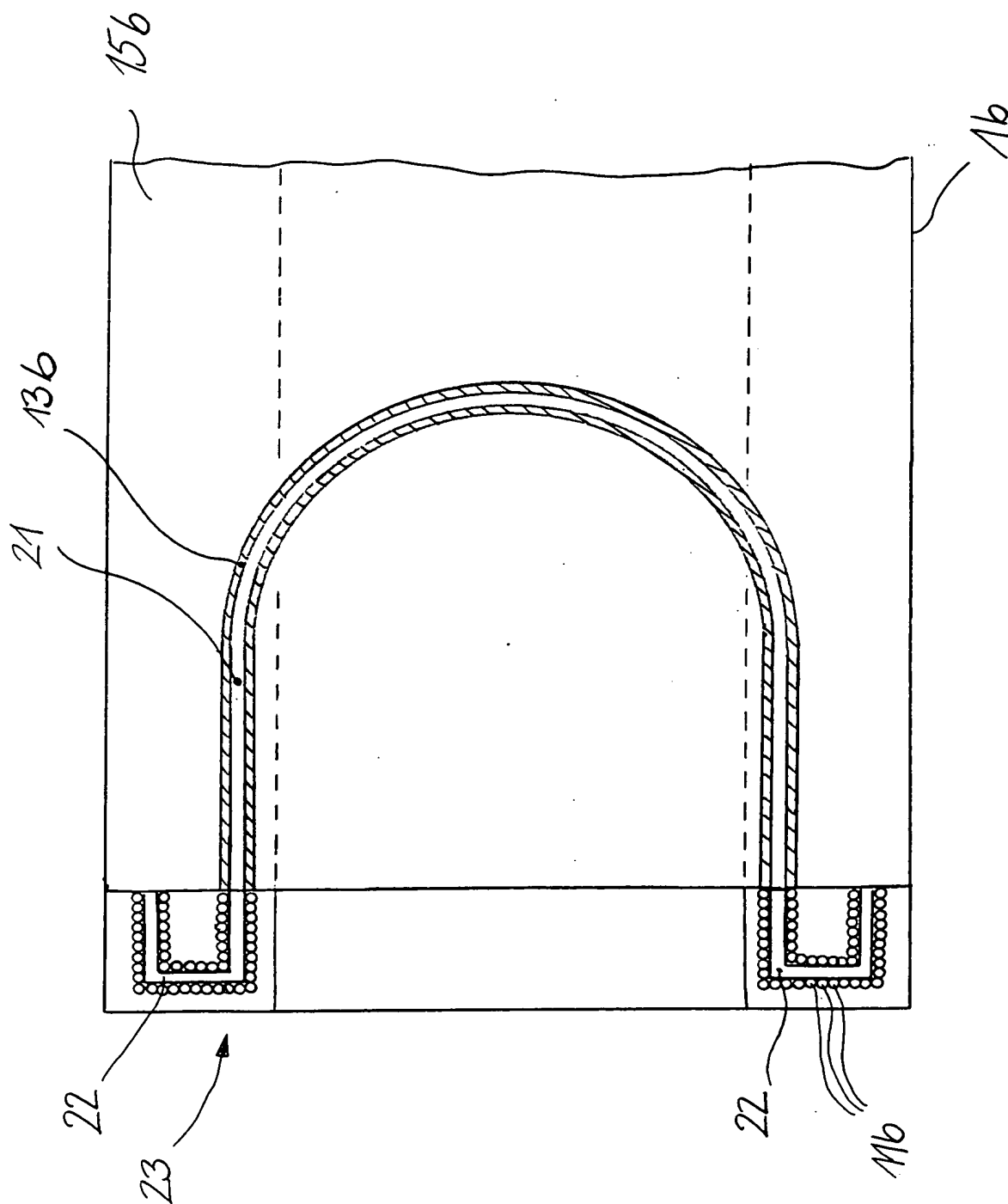


FIG 3



Creation date: 11-10-2003  
Indexing Officer: AJAMES1 - ALFREDO JAMES  
Team: OIPEBackFileIndexing  
Dossier: 09840577

Legal Date: 07-30-2001

No.	Docode	Number of pages
1	IDS	4
2	FOR	8
3	FOR	9

Total number of pages: 21

Remarks:

Order of re-scan issued on .....